

氏 名	一番ヶ瀬 剛
生 年 月 日	
本 籍	佐賀県
学 位 の 種 類	博士 (工学)
学 位 記 番 号	博甲第380号
学位授与の日付	平成13年3月22日
学位授与の要件	課程博士 (学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	プラズマディスプレイの基本特性改善と実用化に関する研究
論文審査委員(主査)	畑 朋延 (工学部・教授)
論文審査委員(副査)	長谷川誠一 (自然科学研究科・教授) 森本 章治 (工学部・助教授) 佐々木公洋 (研究科・助教授) 猪熊 孝夫 (工学部・助教授)

## 学 位 論 文 要 旨

### Summary

In this paper, it was researched about DC (direct current) type plasma display. The contents of research contain the research about the monochrome plasma display which used neon gas, and research of the color plasma display which used xenon gas.

Research of monochrome PDP was performed for the purpose of realizing PDP, which can be driven with low electric power. Discharge gas was examined in order to realize low electric power PDP. And the luminance efficiency in a discharge was increased by 3.2 times using 100% neon gas. However a discharge becomes unstable if pure neon gas is used. The LSCO:  $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_3$  was used as cathode material in order to solve this problem. Through this research, practical low electric power PDP was realized.

The second theme of this paper is utilization researches of the information color PDP. Research of color PDP was performed for the purpose of realizing PDP, which have the practical life characteristic, and a practical luminance. Discharge gas was examined in order to extend lifetime. And 3-ingredient gas containing He, Ne, and Xe was introduced.  $\text{He}_{40}\text{Ne}_{40}\text{Xe}_{20}$  was determined as an ingredient ratio of gas. The lifetime of 30000 hours or more was realizable using this discharge gas. Cell structure was examined in order to realize a practical luminance. It was found that a ratio between width of anode electrode and cathode electrode was related to luminance from the analysis of a discharge cell. Using this relation, it was made that PDP had luminance more than  $90 \text{ cd/m}^2$ .

本論文はプラズマディスプレイパネル (Plasma Display Panel : PDP) の基礎検討を通じて基本特性を改善することにより、完成度の高いプラズマディスプレイを実用化した研究論文である。

本論文ではDC (直流) 型プラズマディスプレイについて検討を行った。研究内容はネオンガスの自己発光を使用したモノクロ・プラズマディスプレイの研究とキセノンノガスを主な放電ガスとして使用し蛍光体の発光を使用したカラー・プラズマディスプレイの研究に関する内容を含む。

モノクロ (Ne オレンジ) PDPの研究は低消費電力化をテーマとして研究を行った。PDPの低消費電力化を実現する方法としてPDPの投入電力に対する発光効率上げ、しかも従来とおなじ放電特性と寿命特性を維持する方法を検討した。PDPの発光効率を上げる方法として、放電ガスの検討から始めた。従来のPDPでは放電ガスとしてNe Ar (0.5%) 混合ガスを使用していた。放電による発光はネオンガスの発光を使用し、アルゴンガスはペニング効果により放電開始電圧を低下させ放電を安定させるために使用された。さらに放電でのスパッタリングを抑制するために水銀を添加して使用していた。放電ガスの検討から、発光輝度の向上のためには放電ガスの構成を従来のNe Ar 混合ガスを使用せず、ネオンガス100%を使用することで発光効率を約3.2倍上昇できることを見出した。しかし放電ガスをネオンガス100%として使用すると放電開始電圧および放電電圧が上昇し、さらに放電が不安定となる。このため従来のPDP構成では使用できない。この課題解決としてカソード材料に $\text{LSCO} : \text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_3$ を導入した。LSCOをカソードとして使用することで高い発光効率を維持したまま放電電圧を低下させることができた。また放電電圧を従来のPDPと同じレベルまで低下することが可能となった。しかしLSCOをカソードとして実用的に使用するためには、LSCOを有効に使用する方法を開発する必要があった。当初、二つの課題があった。

LSCOは比抵抗が大きく放電電流を十分に流せないため、電力ロスが大きくなり使用が困難であると予想された。このためLSCOの比抵抗が最も小さくなる組成比の検討を行った。また実際のPDPにカソードとして使用したときの比抵抗を低下させるためアルミニウム添加の方法について検討を行った。LSCOの比抵抗の低減はある程度達成できた。しかしこれらの改善検討だけではLSCOにカソード以外の機能、配線ラインとしての機能を持たすことは困難であった。PDPのカソードはライン状に形成し各表示ドットに放電電流を供給している。このためカソードは電流供給のために配線ラインとしての機能が必要である。この課題を解決するために、銀ラインの上にLSCOを形成するカソードの二重構造を開発した。

LSCOの特性を有効にするには従来から使用してきた水銀の添加を止める必要があった。水銀はLSCOの表面に皮膜を形成しLSCOの働きを止める。しかし水銀を添加しないとスパッタリングが急速に進行して寿命を短くする。このためLSCO自体が十分な耐スパッタリング特性を持つ必要があった。LSCO自体は十分な耐スパッタリング特性を持つが、LSCOは放電収縮を生じ易い。放電収縮を生じると放電中の電流密度が上昇しスパッタリングが急速に進行する。このためLSCO表面での有効放電面を初期から拡

大しておくことが必要である。LSCOの特性を引き出すためには初期にLSCO表面を活性にする必要がある。このためエージングとよばれる初期の予備放電を行う。このエージングが不完全であるとLSCO表面での有効放電面が十分に取れず、放電中の電流密度が上昇しスパッタリングが急増する。また、このエージングがカソード面上で均一に行われないと表示放電のムラを発生する。このエージングを均一に行う方法として、放電ガスにアルゴンをあらかじめ添加しておきLSCOのエージング中のアルゴン吸収を利用するエージング方法を開発した。以上の研究成果に基づき低消費電力で2階調表示が可能な電池駆動ノートブック用のPDPの開発に成功し製品化することができた。

次の研究テーマとしてLSCOを使用した階調表示が可能な低消費電力PDPの実現に取り組んだ。カソード材料にLSCOを使用したPDPでは、短い期間の放電において放電不安定を発生するために多階調表示が可能なPDPには使用できなかった。またLSCO固有の特性のために連続放電を続けると放電領域の収縮を発生し易いという課題があった。放電領域の収縮は放電電流密度の上昇を招き、スパッタリングが急増する。このために局所的なスパッタリングの増加を生じ、寿命を短くする。LSCOの特性改善研究から、この課題は絶縁物を添加することで改善できることを見出した。最初に使用した絶縁添加材料はアルミナであった。しかしアルミナではLSCOの特性上の課題を完全に改善することはできなかった。さらに研究を続けるなかで、絶縁添加物としてチタン酸バリウムが最も有効な添加材料であることを見出した。カソード材料としてのLSCO材料の特性改善研究に加えてLSCOに適したPDP構造の研究を並行して進めた。これらの構造研究からLSCOの放電収縮の抑制には放電開始までの電極間の電界分布も重要な要因となることが明らかになった。PDPでは放電開始を繰り返すために、放電開始直前の電極間の電界分布がその後の放電に影響する。放電開始直前の電界分布は均一であることが望ましい。電界分布が偏っているとLSCOの放電収縮を発生し易い。先に示したように放電収縮は急速なスパッタリングを発生しPDPの寿命を短くする。このためアノード電極の組み合わせでの寿命評価を続けた。この結果、アノードとして平面電極であるITOを使用すると寿命が長くなることが確認された。以上の研究成果に基づき、多階調表示が可能でしかも実用的な寿命特性を備えた低消費電力タイプのPDPの開発に成功し、製品化された。

本論文では先に述べた主なテーマの他にPDPの実用化研究過程で得られた検討結果も併せて示す。先に示したように、LSCOを使用するに当たって従来のPDPの構造では実使用に適さない。このため放電セルの最適構造の検討を行った。またカソードの仕上がり形状についても検討を行った。この他に、LSCOカソードを使用して試作を進めるなかで、LSCOを含むカソード内部でのガラス成分の拡散と放電特性に及ぼす影響が明らかになった。LSCOカソードには結着のためにガラスを添加して使用する。このガラス成分はPDP製作の途中の焼成時に軟化して拡散、移動する。ガラス成分がLSCO表面へしみだした場合、このカソード表面は使用できなくなる。このためPDPの表示不良を発生する。この他、同じく焼成時にLSCO層と配線用の銀層との間にガラス成分が集まると抵抗の大きい絶縁層が形成される。この結果放電電流が流れなくなり放電が阻害され

表示不良を発生する。このような不良はPDPをある程度の数量をまとめて試作した時に発生した。対策としてLSCO層に添加するガラスに軟化点温度の高い材料を使用することで対策できることが明らかになった。

本論文の二つ目のテーマである情報表示用PDPの実用化研究では実用的寿命特性の確保、実用的輝度を得る事为目标に検討を行った。

カラーPDPでは放電ガスの発光を直接使用するのではなく、主な放電ガス成分であるキセノンが放電時に発する紫外線を蛍光体に照射し蛍光体の発する可視発光を利用する。このため放電ガス中にはキセノンが必要であるが、放電ガスにキセノンのみを使用すると放電が不安定となり使用できない。研究の初期にはHeXeの混合ガスを使用した、スパッタリングが大きく寿命を短くしていた。寿命特性確保の研究では主に放電ガス構成の検討から始めた。研究初期に使用していたHeXe混合ガスでは放電は容易であるものの寿命時間が500時間程度と短く実用的な使用が困難であった。本研究ではXeを主体とする放電ガスにネオンガスを加えると寿命時間を30000時間以上にできる見通しを得た。しかしXeNeによる2成分ガスではスパッタリングを効果的に抑制できるものの放電の安定性、実用的な使用に課題があった。このためキセノンにネオンとヘリウムガスを加えた3成分ガスとすることで実用的に使用し易くまた寿命特性を確保できるガス構成比を検討した。この研究から、3成分ガスで寿命と放電特性を維持したまま最も輝度が大きくなるガス構成比として $\text{He}_{40}\text{Ne}_{40}\text{Xe}_{20}$ を決定した。この研究の過程で寿命評価を加速試験で行う方法を導入した。

放電ガスによる寿命特性の改善に続いて、実用的な輝度を得る研究を行った。情報表示用PDPを実用的に使用するには $80\sim 90\text{ cd/m}^2$ の輝度が必要であった。前記放電ガスの改善によって最大輝度となる放電ガス構成を導入した後においても到達輝度は $70\text{ cd/m}^2$ 程度であり実用輝度が不足していた。このためPDPの放電セルについて輝度向上が可能な構造の検討を行った。セルの発光は蛍光体の位置で均一ではなくカソードから離れるに従って低下している。CCD素子を用いた輝度分布の測定から放電ガスの紫外線吸収係数を推定することができる。吸収係数はカソードの距離から二つの領域で2種類存在することが推定された。この吸収係数を用いて放電セル全体のカソード中心からの任意の位置での発光輝度を計算によって推定することが出来る。この計算による推定ではカソード直下の実際には観測できない部分の輝度を推定出来る。この結果、次のことが推定出来た。本研究で使用したPDPではDC型であり構造上カソード直下に発光が集中している。この領域はカソード電極の陰になるため発光を利用し難い構造となっている。しかし計算による推定からこのカソード直下の発光を利用できれば輝度の向上が可能であることが明らかであった。しかし具体的なカソード直下の発光の利用方法が不明であった。カソード直下の発光を利用する手掛かりを得るため放電セルの各設計寸法と輝度の相関分析を実施した。研究で使用したPDPはスクリーン印刷で製作するため、試作したPDPのセル寸法はばらつきを含んでいる。このばらつきを利用して実際の寸法測定値と試作したPDPの測定輝度を用いると分析が可能である。この結果、輝度がカソード電極幅とアノード電極幅の比に依存していることを見出した。カソード直下の発光はカソードの陰となって発

光輝度に寄与しないものと考えていたが、実際には発光輝度に寄与していることが明らかになった。この特性を利用することでカソード直下の発光を使用する手掛かりを得ることが出来た。カソード直下の発光を使用するために、カソード直下の領域にも蛍光体を塗布した領域を形成した。この結果、目標とする実用輝度：90 cd/m<sup>2</sup>以上を実現することが出来た。

本論文では先に述べた主なテーマの他にPDPの実用化研究過程で得られた検討結果も併せて示す。カラーPDPではカソード材料にアルミニウムを使用した。カソード材料は配線ラインとしての機能が必要であり比抵抗を低く抑える必要がある。このためアルミニウム材料は球形となる加工を行い、さらにSiを添加した。また本研究で使用したアルミニウム・カソードは放電を続けることで放電電圧が低下していく特性が見られた。この原因の解明を行った。この他にカラーPDPを多量試作した時に発生したカソード材料に関連したトラブルの発生と対策状況について示す。

本研究はプラズマディスプレイの実用化をテーマにしており、実用化するための実験とその評価結果を中心に示している。

## 学位論文審査結果の要旨

本審査委員会は、年2回の博士報告会を基に審査の結果、本学位論文に対して以下のように判定した。

本論文はプラズマディスプレイパネルに関する基礎的な研究とそれを実用化するための応用に関する研究を含んでいる。本論文はDC(直流)型プラズマディスプレイについての研究であり、研究内容はネオンガスを使用したモノクロ・プラズマディスプレイに関する研究とキセノンガスを使用したカラー・プラズマディスプレイの研究を含む。モノクロPDPの研究は低消費電力で駆動できるPDPを実現することを目的に行ない低消費電力化を実現するために放電ガスの検討を行い、その過程で100%ネオンガスを用いることで放電における発光効率を3.2倍増加させることに成功している。この研究を通じて、低消費電力で実用的なPDPを実現することに成功している。本論文の二つ目のテーマは情報表示用カラーPDPの実用化研究である。この研究に寿命を延長するために放電ガスの検討を行っている。してXeを含む3成分ガスを導入している。研究の結果、発光輝度が最も大きくなこの放電ガスを使用することで30000時間以上の寿命を実現している。さらに、本論文では実用的な輝度を実現するためにセル構造の検討を行っている。放電セルの解析から陽極と陰極の電極幅の比率が輝度に関係していることを発見している。以上の二つのテーマは工業製品の製品化を目的に行われており、いずれも製品化されている。本論文では実験を主体とした研究が行われており、研究の過程で見つけた実用的な実このため極めて実用的な研究となっている。以上の結果から委員会は本論文が博士論文に値すると結論した。